

Stanisław GUMUŁA\*, Małgorzata PIASKOWSKA\*\*

## Emisja dwutlenku węgla a zagrożenie efektem cieplarnianym

**STRESZCZENIE.** W artykule opisano mechanizmy fizyczne powstawania efektu cieplarnianego w atmosferze. Omówiono jego rolę w kształtowaniu parametrów termicznych atmosfery oraz pokazano charakterystyki emisyjności (absorpcyjności) dwutlenku węgla i pary wodnej. Wskazano, że głównym czynnikiem, decydującym o powstawaniu efektu cieplarnianego jest para wodna. Udział innych gazów, w tym dwutlenku węgla, jest ułamkowy. Pokazano również, że współczynniki absorpcyjności głównych gazów cieplarnianych ze wzrostem temperatury maleją, co oznacza zmniejszenie się efektu cieplarnianego ze wzrostem temperatury atmosfery. Przedstawiono wyniki długookresowych badań zmian klimatu na Ziemi, określonych na podstawie izotopowego składu warstw lodowców oraz składu osadów głębin morskich, wskazujących, że temperatura powietrza przy powierzchni Ziemi w skali długoterminowej ulegała, z niewiadomych przyczyn, znacznym wahaniom. W świetle tych informacji i rozważań obwinianie wyłącznie dwutlenku węgla za zmiany oraz anomalie stanu atmosfery jest mocno dyskusyjne.

**SŁOWA KLUCZOWE:** spalanie, dwutlenek węgla, efekt cieplarniany

### Wprowadzenie

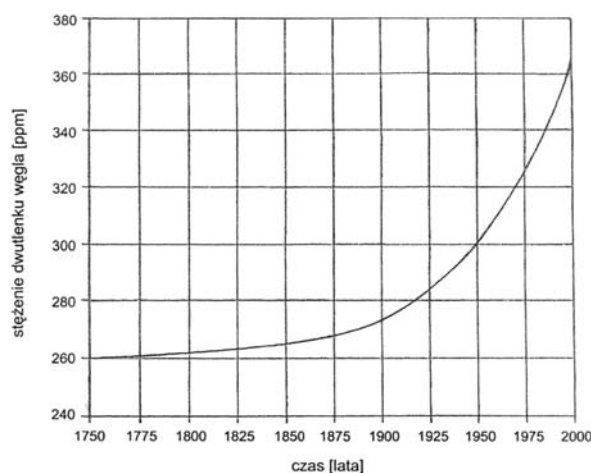
Wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze, związany z rozwojem energetyki, jest przez wielu uczonych wskazywany jako źródło globalnego zagrożenia ekologicznego Ziemi.

\* Prof. dr hab. inż. — Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: kmiue@imir.agh.edu.pl

\*\* Dr inż. — Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków

Równania stechiometryczne opisujące procesy spalania paliw [5, 6] pokazują, że spalanie 1 kg węgla, na którym bazują prawie wszystkie polskie elektrownie i znaczna część światowych zakładów energetycznych, to równoczesna produkcja 3 66 kg dwutlenku węgla. Przyjmując wartość opałową węgla 35 000 kJ/kg oraz średnią sprawność wytwarzania energii elektrycznej wynoszącą około 0,3, łatwo wyliczyć, że wyprodukowanie 1 kW·h wymaga spalania około 0,33 kg węgla, co daje około 1,2 kg dwutlenku węgla. Tylko w polskiej energetyce zawodowej zainstalowana jest moc około 34 000 MW, a roczna produkcja energii netto wynosi około 140 TW·h, co powoduje wytworzenie  $168 \cdot 10^6$  Mg dwutlenku węgla w ciągu roku. Skala zjawiska jest zatem gigantyczna.

Dwutlenek węgla był w atmosferze odkąd istnieje życie na Ziemi. Stanowi produkt przemiany materii u ludzi i zwierząt oraz podstawowy budulec ziemskiej flory, asymilowany w procesie fotosyntezy. Jest tym samym dla świata roślin, co dla zwierząt i ludzi tlen, zatem w atmosferze być musi. Jeżeli jednak popatrzymy na krzywą stężenia dwutlenku węgla w powietrzu na przestrzeni ostatnich dwustu lat, pokazaną na rysunku 1, widać, że równowaga pomiędzy produkcją CO<sub>2</sub>, a asymilowaniem go przez świat roślin została wyraźnie zachwiana. Energetyka wytwarza coraz więcej dwutlenku węgla, a drzew i roślin do jego wchłaniania jest na Ziemi coraz mniej.



Rys. 1. Wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze ziemskiej na przestrzeni ostatnich dwustu lat [1, 2]

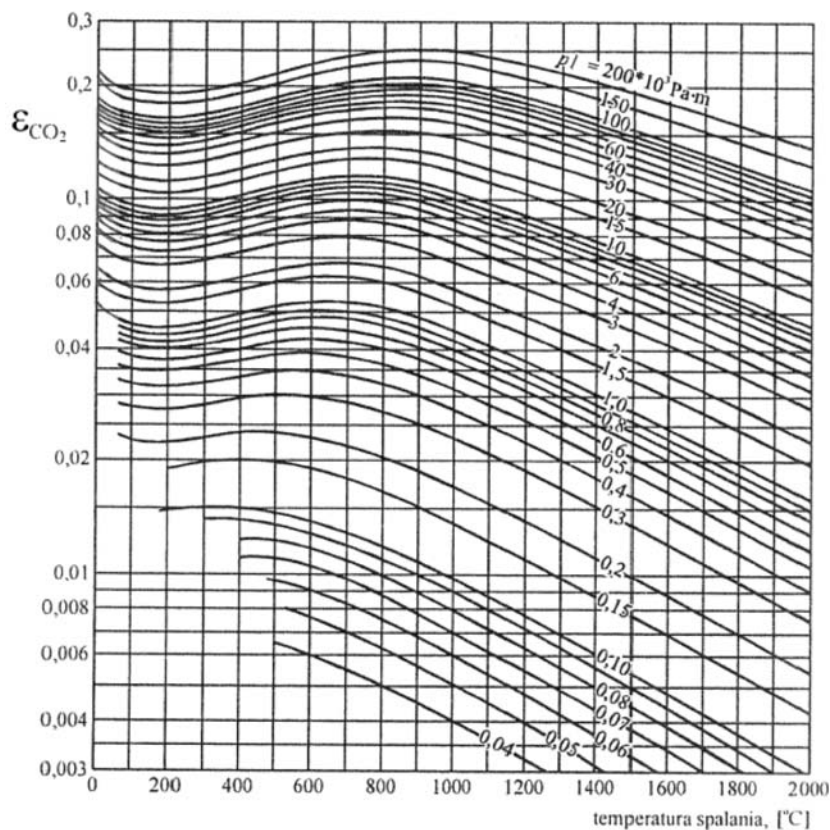
Fig. 1. Increase of concentration of carbon dioxide in Earth's atmosphere in last 200 years [1, 2]

## 1. Efekt cieplarniany jako zjawisko fizyczne

Z termodynamiki [3, 5, 6] wiemy, że wszystkie ciała stałe, ciekłe i gazowe emitują oraz absorbują promieniowanie, niezależnie od obecności i temperatury innych ciał znajdujących

się w ich sąsiedztwie (prawo Prewosta). Intensywność promieniowania ciał stałych i ciekłych jest ciągłą funkcją długości wypromieniowywanej fali (częstotliwości promieniowania). Współczynniki emisyjności i absorpcyjności powierzchni danego ciała są sobie równe (prawo Kirchhoffa). Tym prawom, dotyczącym promieniowania, podlega również powierzchnia Ziemi.

Inaczej, z punktu widzenia absorpcyjności i emisyjności promieniowania, przedstawiają się właściwości gazów lub mieszaniny gazów, z których składa się atmosfera ziemską. Przede wszystkim ogromna grupa gazów, skupiająca gazy jedno- i dwuatomowe (poza dwoma wyjątkami: CO oraz HCl), ma absorpcyjność i emisyjność praktycznie równą zero, czyli nie absorbują i nie emitują promieniowania w żadnym zakresie długości fal (częstotliwości promieniowania). Gazy trój- i więcej atomowe mają emisyjność i absorpcyjność różną od zera, ale nie jest ona ciągłą funkcją długości fali. Inaczej mówiąc jest ona selektywna, czyli w pewnych pasmach długości fali występuje, a w pewnych nie. Pasma absorpcyjności i emisyjności danego gazu są identyczne. To znaczy dany gaz absorbuje

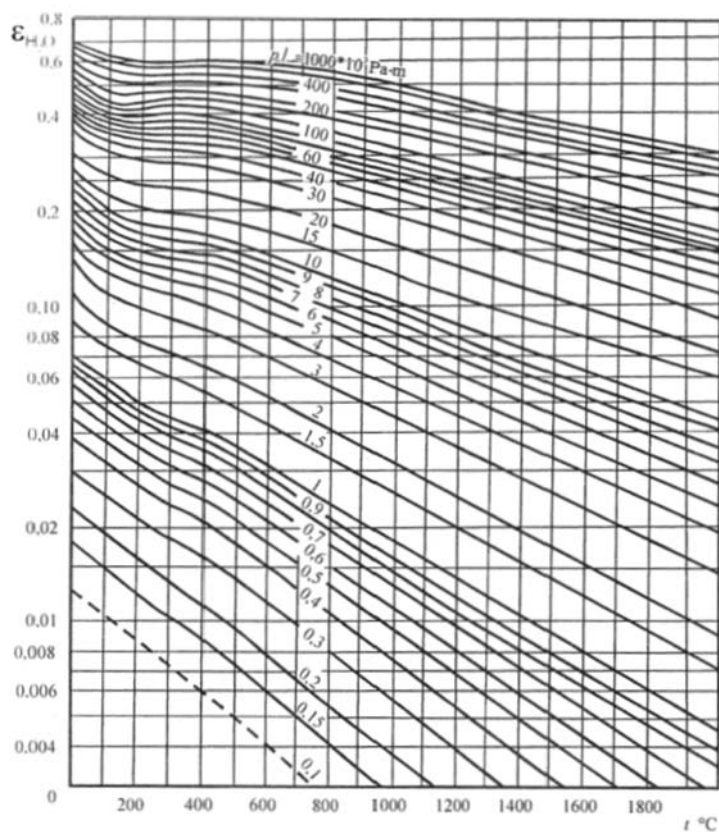


Rys. 2. Zależność emisyjności (absorpcyjności) dwutlenku węgla od temperatury tego gazu oraz iloczynu grubości jego warstwy i ciśnienia cząstkowego [3, 6]

Fig. 2. Dependence of CO<sub>2</sub> emission (absorption) on temperature and on product of its layer thickness and partial pressure [3, 6]

i emituje promieniowanie w tych samych przedziałach długości fal. Ponadto wartości współczynników emisyjności i absorpcyjności dla danego gazu są również w przybliżeniu sobie równe (analogia do prawa Kirchhoffa). Pasma emisyjności i absorpcyjności dla różnych gazów mogą się pokrywać, czyli na siebie nachodzić, mogą się pokrywać częściowo, mogą również na siebie nie nachodzić dla żadnej długości fali. Należy jeszcze zaznaczyć, że inaczej niż ciała stałe, które emitują i absorbują promieniowanie powierzchnią, gazy, nie mając powierzchni, czynią to całą objętością. Emisyjność i absorpcyjność gazu wyrażona współczynnikiem emisyjności, równym w przybliżeniu współczynnikowi absorpcyjności, zależy od temperatury i ilości gazu, wyrażonej iloczynem grubości warstwy tego gazu i jego ciśnienia. Jeżeli gaz jest składnikiem w mieszaninie złożonej z większej ilości gazów, przyjmuje się jego ciśnienie cząstkowe (parcjalne). Relacje te dla dwutlenku węgla i pary wodnej przedstawiają rodziny charakterystyk na rysunkach 2 i 3.

Intensywność promieniowania Słońca, jako funkcja długości fali, jest zbliżona do ciała doskonale czarnego (prawo Plancka). Emisyjność a tym samym absorpcyjność podstawowo-



Rys. 3. Zależność emisyjności (absorpcyjności) pary wodnej od temperatury tego gazu oraz iloczynu grubości jego warstwy i ciśnienia cząstkowego [3, 6]

Fig. 3. Dependence of water vapour emission (absorption) on temperature and on product of its layer thickness and partial pressure [3, 6]

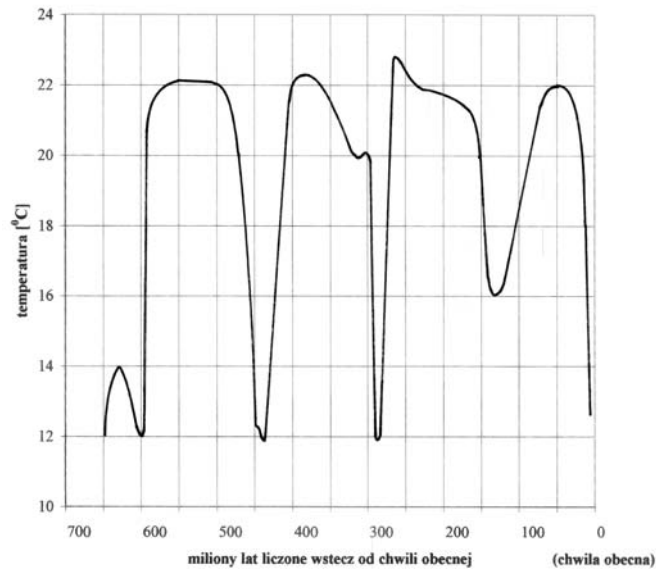
wych składników atmosfery: tlenu i azotu, jako gazów dwuatomowych, jest zerowa dla wszystkich długości fal. Z kolei pasma emisyjności i absorpcyjności gazów o większej ilości atomów w cząsteczce, obecnych w atmosferze ziemskiej, znajdują się poza pasmem promieniowania Słońca. W tej sytuacji intensywność promieniowania Słońca przy przejściu przez atmosferę nie ulega istotnym zmianom i w pogodny dzień, przy czystym powietrzu, jego wartość na szczycie atmosfery jest zbliżona do wartości na powierzchni Ziemi. Energia promieniowania słonecznego, docierająca na powierzchnię Ziemi, ulega między innymi konwersji na ciepło i w ten sposób staje się ona wtórnym źródłem promieniowania. Promieniowanie Ziemi odbywa się w innym zakresie długości fal niż promieniowanie Słońca i posiada oczywiście znacznie mniejszą intensywność. A co najistotniejsze, w przedziale długości fal promieniowania Ziemi znajdują się pasma emisji i absorpcji gazów znajdujących się w atmosferze. Do gazów tych należą przede wszystkim para wodna, metan, ozon i właśnie dwutlenek węgla. Zatem promieniowanie Ziemi, które jest ciągłą funkcją długości fali, w pewnych zakresach tych długości będzie absorbowane, czyli zamieniane na ciepło. Zakres długości fal absorpcji promieniowania Ziemi w atmosferze to oczywiście zakres absorpcji gazów, które się w niej znajdują. Właśnie ta zamiana energii promieniowania Ziemi na ciepło w atmosferze, na skutek istnienia w niej gazów więcej niż dwuatomowych, nazywana jest efektem cieplarnianym (w języku angielskim: *greenhouse effect*), a gazy, które go powodują gazami cieplarnianymi.

## 2. Udział dwutlenku węgla w tworzeniu efektu cieplarnianego

Czy wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze ziemskiej może stanowić zagrożenie ekologiczne? Wielu ekologów i klimatologów wyraża opinię, że zagrożenie to jest bardzo poważne. Obserwowane od około dwustu lat ocieplanie się klimatu, topnienie lodów w okolicach podbiegunowych Ziemi, wzrost poziomu wód oceanów i bardzo groźne w skutkach anomalie pogodowe, prowadzą do lokalnych katastrof ekologicznych niszczących gospodarkę oraz infrastrukturę. Z faktu, że takie zjawiska są obserwowane nie wynika natomiast, że za wszystko odpowiedzialne jest nasilanie się efektu cieplarnianego a w szczególności wzrost stężenia jednego tylko z atmosferycznych gazów cieplarnianych, jakim jest dwutlenek węgla.

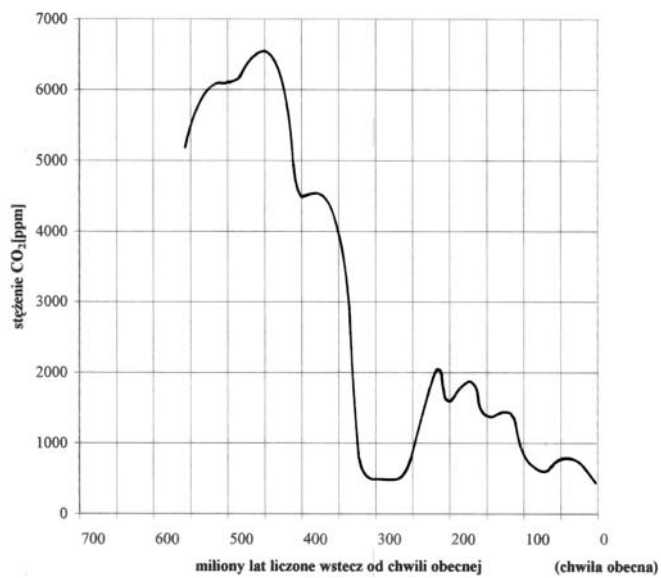
Jeżeli porówna się stężenie parcjalne dwutlenku węgla oraz pary wodnej, uwzględniając, że para wodna unosi się do górnych warstw atmosfery, natomiast dwutlenek węgla jako gaz znacznie cięższy od powietrza najwyższe stężenia ma przy powierzchni Ziemi, można stwierdzić, że efekt cieplarniany w blisko 95% pochodzi od pary wodnej.

Badania temperatury powietrza i poziomu wód oceanów, prowadzone systematycznie od około dwustu lat, wykazują niemonotoniczną tendencję wzrostową obydwu tych wielkości, podczas gdy wzrost stężenia dwutlenku węgla ma charakter monotoniczny.



Rys. 4. Zmiany średniej temperatury atmosfery przy powierzchni Ziemi na przestrzeni kilkuset milionów lat [4]

Fig. 4. Changes of average atmosphere temperature at Earth's surface in several hundred Million years [4]



Rys. 5. Zmiany stężenia dwutlenku węgla przy powierzchni Ziemi na przestrzeni kilkuset milionów lat [4]

Fig. 5. Changes of concentration of CO<sub>2</sub> at Earth's surface in several hundred Million years [4]

### 3. Długoterminowe zmiany temperatury i stężenia dwutlenku węgla w atmosferze

Badania pośrednie długookresowych zmian klimatycznych, obejmujących okres kilkuset milionów lat, oparte na określeniu zawartości deuteru i stosunku izotopów tlenu  $^{18}\text{O}$  do  $^{16}\text{O}$  wykazują, że temperatura atmosfery permanentnie ulegała znacznym wahaniom, a obecny okres wcale do najgorętszych nie należy (rys. 4). Podobnie obecnie stężenia dwutlenku węgla w powietrzu nie są najwyższe w dziejach Ziemi (rys. 5). Równocześnie porównując rysunki 4 i 5 widać brak korelacji pomiędzy temperaturą a stężeniem dwutlenku węgla w atmosferze.

Anomalie pogodowe również nie są cechą znamioną naszych czasów. Biblijny potop na pewno nie był następstwem nasilenia się efektu cieplarnianego, zwłaszcza wywołanego rozwojem energetyki. Epoka lodowcowa również nie zakończyła się z powodu spalania surowców kopalnych.

### Podsumowanie

Biorąc pod uwagę znane prawa fizyki, charakter procesów zachodzących w atmosferze oraz długofalowe zmiany klimatu ziemskiego i stężenia dwutlenku węgla w powietrzu, zagrożenia ekologiczne ze strony nadmiernej emisji  $\text{CO}_2$  należy uznać za słabo uzasadnione.

### Literatura

- [1] <http://www.cru.uea.ac.uk>
- [2] <http://cdiac.ornl.gov>
- [3] HOBLER T., 1998 – Ruch ciepła i wymienniki. WNT. Warszawa.
- [4] STANLEY S.M., 2002 – Historia Ziemi. PWN. Warszawa.
- [5] SZARGUT J., 2005 – Termodynamika techniczna. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.
- [6] WIŚNIEWSKI S., WIŚNIEWSKI T., 2000 – Wymiana ciepła. WNT. Warszawa.

Stanisław GUMUŁA, Małgorzata PIASKOWSKA

## Emission of carbon dioxide and threat of greenhouse effect

### Abstract

The paper outlines the physical mechanisms of the greenhouse effect in the atmosphere. It describes the role of the greenhouse effect in controlling thermal parameters in the atmosphere, emission characteristics of CO<sub>2</sub> and water vapor emission characteristics. Water vapor is shown to be the major determinant of the greenhouse effects in the atmosphere. The contribution of other gases, including CO<sub>2</sub>, is really minor. It is shown that absorption coefficients for the key greenhouse gases tend to decrease while temperature increase, which implies that the greenhouse effect becomes less intense at elevated temperatures in the atmosphere. Long-term climate research data are recalled, obtained on the basis of isotope tests of glacier layers and composition of sediments on the sea and ocean floor, indicating that the air temperature near the Earth surface has displayed large fluctuations when measured in the long-term, and the reasons for these fluctuations are not sufficiently well known. In the light of this research data, attributing all climate changes and anomalies to the CO<sub>2</sub> emission only, seems to lack proper justification.

KEY WORDS: combustion, carbon dioxide emission, greenhouse effect